

УДК 612.821

ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТРОЙСТВ И СРЕДСТВ ВИЗУАЛЬНОЙ МАСКИРОВКИ

Г.В. Иванов, д-р психолог. наук А.И. Худяков, д-р мед. наук А.Н. Алехин

Психофизиология изучает заметность объектов для человека-наблюдателя с середины XIX в. Созданы методики экспериментов для оценки заметности, математические модели работы зрительной системы. Эти разработки используются, например, при конструировании систем наведения ракет. Представляется очевидным, что технологии маскировки должны разрабатываться с учетом науки о зрении.

Основное назначение устройств и средств визуальной маскировки – обеспечить незаметность бойца или объекта для противника. Наставление по войсковой маскировке определяет маскировку как «совокупность всех средств и приемов имеющих целью ввести противника в обман» и усматривает два основных акта из которых складывается всякая маскировочная деятельность: 1) скрыть действительное и 2) создать ложное. Соккрытие предмета осуществляется путем уничтожения его демаскирующих признаков, т.е. тех признаков по которым противник узнает данный объект; и наоборот – для создания ложного объекта нужно воспроизвести демаскирующие признаки его (Теплов, 1926).

Зрительная система человека организована в виде иерархических уровней. Первый уровень определяет цвета наблюдаемой сцены, второй – ориентацию штрихов в сцене, третий опознает осмысленные объекты (в нашем случае бойцов, технику). Работа каждого уровня системы осложнена собственными и привнесенными извне (снег, туман) помехами. Поэтому при принятии решения о наличии/отсутствии объекта вовлекается еще один вышележащий уровень, оценивающий достаточно ли ощущение присутствия объекта, чтобы быть вызванным настоящим противником или это ощущение – следствие собственных помех зрительной системы.

Рассмотрим возможности по введению в заблуждение отдельных уровней зрительной системы противника.

1. Учет влияния оптики глаза

Внутренние среды глаза (хрусталик, стекловидное тело) размывают распределение света падающее в зрачок. Так, если отбросить в глаз точечный источник света, на дне глаза (после прохождения оптической части) отобразится кружок с размытыми краями (Логвиненко, 1985). Поэтому при изучении любого камуфляжного рисунка необходимо моделировать действие оптики глаза. Это может быть сделано более грубо путем низкочастотной фильтрации или свертки изображения камуфляжа с гауссианной (ранее нами было разработано программное обеспечение, реализующее такую свертку с гауссианой) или более тонко, с применением формулы оптической передаточной функции глаза, реконструированной на основе оптических измерений реального глаза.

2. Обман системы свето- и цветоощущения

Если человека попросить оценить в баллах от 0 до 9 воспринимаемые различия между цветами, можно реконструировать цветовое пространство восприятия. Две оси такого пространства со-

ответствуют степеням возбуждения 2 видов цветоопponentных систем глаза, красно-зеленой и сине-желтой. Еще две оси соответствуют активациям системы ощущения яркости (*B*-система) и темноты (*D*-система). Таким образом, каждый источник излученного/отраженного света, физически описываемый распределением энергии при разных длинах волны, описывается зрительной системой как точка в четырехмерном пространстве. Координаты этой точки задаются степенями активации 4 систем. Можно провести вектор из начала координат в эту точку, получив вектор возбуждения. Хотя пространство четырехмерно, концы векторов возбуждения соответствующих всем возможным цветам лежат на поверхности четырехмерной сферы. Полярные координаты каждой точки лежащей на сфере определяют психологические характеристики соответствующего цвета (Соколов, Вайткявичус, 1989): тон (то что отличает цвет от серого цвета той же светлоты. Различия, обозначаемые такими словами как красный, желтый, зеленый, синеватый есть различия по цветовому тону), насыщенность (степень выраженности цветности в ощущении. Так цвет кумача насыщеннее цвета кирпича) и светлоту (Кравков, 1952).

Если человеку предъявляются 2 пятна света примыкающие краями (например, шапка бойца и рядом лужа), результирующее ощущение зависит от координат векторов возбуждений, порождаемых в нашем примере шапкой и лужей. Если вектора близки (угол между векторами меньше порогового значения), зрительная система суммирует эти

вектора и человек переживет шапку и лужу как имеющие один цвет, описываемый усредненным вектором. Соответственно, граница-контур между шапкой и лужей не будет детектирована и боец не будет опознан.

Если вектора далеки друг от друга, то они расходятся в цветовом пространстве друг от друга (одновременный контраст).

На рис. 1 схематически проиллюстрирована эта ситуация – вектора в левом нижнем углу расходятся, вектора в верхнем правом углу суммируются и дают один цвет, описываемый усредненным вектором. Можно рассчитать сферические координаты цветов (как вариант – усредненного по площади цвета) любой сцены. Используя достаточно большое количество фотографий реальных сцен, можно подобрать цвета пятен камуфляжа таким образом, что бы различие между цветом пятна и цветом сцены было меньше порогового (пороговые различия для любой пары цветов известны). Тогда замаскированный объект и сцена будут иметь один цвет, что маскирует.

Рассмотрим задачу деформирующего окрашивания. Здесь на предмет наносятся пятна по крайней мере двух цветов, которые должны возможно более отличаться друг от друга по светлоте, и один из которых (цвет *A*) более или менее сходен с цветом фона. Хотя изолированный цвет *A* не сливается с фоном, цвет *A*, испытывающий влияние одновременного контраста со стороны второго пятна, как-бы отталкивается вторым пятном в цветовом пространстве по направлению к фону. В результате пятно цвета *A* отпадает к фону, и видимая форма объекта искажается (Теплов, 1926).

3. Обман системы пространственного зрения

Рассмотрим, для простоты сначала случай нецветного зрения (такая ситуация может иметь место, например в сумерках, когда цветоприемники глаза не работают). Наблюдаемая сцена имеет определенную среднюю яркость. Замаскированный объект, в общем случае отражает больше или меньше света, чем сцена в среднем. Заметит противник это различие в яркостях или нет, зависит от формы замаскированного объекта, в частности от конфигурации пятен.

При расчете влияния того, как в зрительном поле распределена яркость на заметность этого

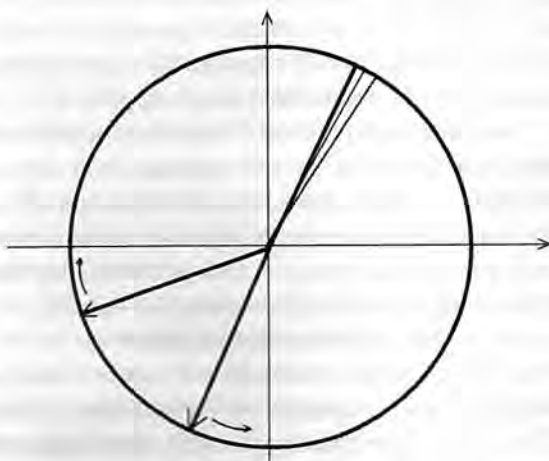


Рис. 1. Усреднение ощущений и контраст ощущений

распределения яркости, часто используется представление изображения в виде его амплитудного Фурье-спектра (считается, что если зрительная система раскладывает пространственное распределение яркости по каким либо базисным функциям, то в ходе зрительной обработки фазы функций, представляющих изображение не меняются) (Логвиненко, 1985).

Для нас здесь интерес представляет так называемая частотно-контрастная (другое название амплитудно-частотная) характеристика зрения. Это зависимость порогового контраста синусоидального распределения яркости (т.н. решетки) в зрительном поле от частоты синусоиды (пороговый контраст – минимальный контраст при котором человек-наблюдатель может обнаружить решетку).

Рассмотрим рис. 2. Видно ухудшение чувствительности (повышение порога) в области высоких частот, обусловленное оптикой глаза (см. пункт 1), и ухудшение в области низких частот, обусловленное нервной частью анализатора.

Считается, что изображение, прошедшее оптическую и первичную нервную обработку поступает на вход набора каналов. Каждый канал настроен на определенный фрагмент изображения, например один канал активируется при наблюдении ростовой фигуры, а другой при наблюдении лежащей фигуры.



Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика зрения. По оси абсцисс – количество циклов решетки, укладываемых в одном градусе. По оси ординат – чувствительность (величина обратно-пропорциональная пороговому контрасту решетки соответствующей частоты) (Логвиненко, 1985)

Следовательно, необходимо, например, считать амплитудные спектры выборки естественных сцен. После этого, используя амплитудно-частотную характеристику зрения в целом и данные о чувствительности отдельных каналов (как их получить смотри ниже), станет возможен синтез такого камуфляжа, который максимально снизит заметность (т.е. активацию соответствующих каналов) ростовых фигур, лежащих фигур, силуэтов объектов подлежащих маскировке.

4. Обман системы каналов

Опишем методику эксперимента, который можно использовать для оценки чувствительности отдельных каналов.

Необходимо подготовить набор фрагментов ландшафта, вырезанных из реальных фотографий, и написать компьютерную программу, формирующую из этих фрагментов случайные сцены. В некоторые сцены необходимо включить изображения камуфлированных объектов, в т.ч. с реализацией интерпозиции (частичного загораживания) камуфлированного объекта элементами ландшафта. Другие сцены оставить «пустыми». Полученные изображения предъявляются наблюдателю с задачей решить, присутствует ли в каждой конкретной картинке камуфлированный объект или нет. При этом наблюдатель знает форму силуэта камуфлированного объекта. Ответы наблюдателя в таком случае основаны на активации канала, обнаруживающего камуфлированный объект.

Предполагается, что каждый канал обладает собственной величиной спонтанной активации. Если в сцене физически присутствует камуфлированный объект, к этой спонтанной активации приплюсовывается величина a' , сдвигающая распределение фоновой активации вправо. Субъект устанавливает критическое значение активации (критерий). Если вызванная определенной картинкой в канале величина активации превышает это критическое значение, наблюдатель отвечает «вижу камуфлированный объект». Если величина активации меньше критического значения, наблюдатель отвечает, что на картинке нет противника.

Можно провести несколько серий эксперимента, задавая наблюдателю разные инструкции («Противника, скорее всего здесь нет», «Вероятность встретить противника средняя», «Противник, скорее всего здесь»). Разные инструкции меняют положение критерия принятия решения.

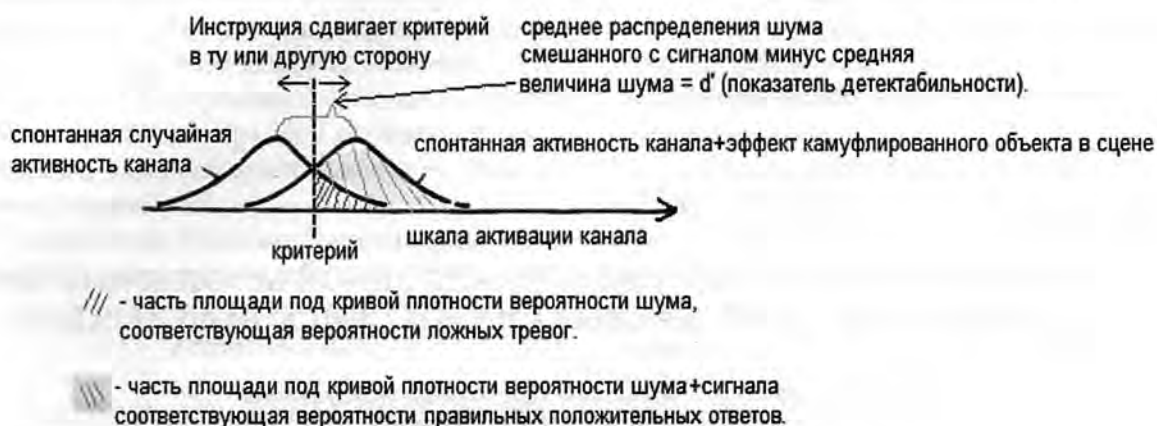


Рис. 3. Шкала активации канала и критерий принятия решения

Для каждой серии в результате эксперимента, будут получены оценки вероятности правильного обнаружения противника – P (Правильных положительных ответов) и вероятности обнаружения противника там, где его нет – P (Ложной тревоги).

Эти вероятности определяются площадями функций плотности вероятности сигнала и шума (спонтанной активации), отсекаемыми критериальным значением (см. рис. 3).

Основываясь на этих данных можно проверить гипотезу о нормальности распределения активации канала (нормально распределенными полагаются как спонтанная активация канала, так и активация канала в присутствии камуфлированного объекта), оценить влияние инструкции на критерий принятия решения и различие между средней величиной шумов в зрительной системе и средней величиной ощущения присутствия объекта. Это различие (d') и характеризует детектабельность камуфляжа, причем оценка детектабельности не зависит от знаний субъекта о том, насколько вероятно появление противника (Бардин, 1976).

Используя такие экспериментально полученные оценки детектабельности разных моделей камуфляжа, можно как выбрать из имеющихся рисунков лучший, так и показать преимущество камуфляжа, разработанного согласно вышеизложенным принципам.

При разработке следует учитывать также несколько дополнительных моментов:

а) Зрительная система может работать в трех режимах: фотопическое зрение (дневной свет, глаз направлен на объект), мезопическое зрение (сумерки, глаз направлен на объект), и скотопическое зрение (сумерки, объект виден краем глаза) (Кравков, 1950).

При переходе от дневного к ночному зрению в глазу увеличивается запас светочувствительного вещества. Это меняет, к примеру, форму амплитудно-частотной характеристики, однако этот процесс математически моделирован (Бондарко и др., 1999), а значит, может быть учтен.

б) Когда в тексте говорилось о расстоянии между объектами (например, шапка и лужа), то имелось ввиду расстояние между изображениями этих объектов на дне глаза. Это расстояние выражается в угловых градусах и зависит от двух факторов: реального расстояния между объектами в метрах и дистанции наблюдения. Следовательно, для учета расстояния между маскируемым объектом и элементами окружения необходимо принимать в расчет также диапазон дистанций наблюдения, встречающийся на практике.

Литература

1. Бардин К.В. Проблема порогов чувствительности и психофизические методы. М.: «Наука», 1976 г.
2. Бондарко В.М., Данилова М.В., Красильников Н.Н., Шелепин Ю.Е. Пространственное зрение. СПб «Наука», 1999 г.
3. Кравков С.В. Глаз и его работа: психофизиология зрения, гигиена освещения. М.-Л. Изд-во АН СССР, 1950 г.
4. Логвиненко А.Д. Чувственные основы восприятия пространства. М. Изд-во МГУ, 1985 г.
5. Соколов Е.Н., Вайткявичус Г.Г. Нейроинтеллект. От нейрона к нейрокомпьютеру.
6. Теплов Б.М. Психология как основа для маскировочной техники// Война и техника. – 1926.- № 306–307